

**Título: Empleo de la propulsión de chorro de agua en  
embarcaciones para el saneamiento marítimo-portuario**

**XIX**

**COPINAVAL 05**

**Congreso Panamericano de Ingeniería Naval,  
Transporte marítimo e Ingeniería Portuaria**

**Guayaquil - Ecuador**



**Autor:** Ing. Roberto Gálvez Flores  
**Posición:** Especialista  
**Organización:** Empresa de Proyectos Navales  
**Teléfono:** 862-1205  
**Fax:** 866-5699  
**Dirección:** Oficios # 452 esq. A Acosta Municipio Habana Vieja  
Ciudad de La Habana, Cuba  
**Dirección electrónica:** galvez.ceprona@argus.cu  
**Dirección geográfica:** Edificio CEPRONA apto. 11 Zona 11 Alamar Municipio  
Habana del Este, Ciudad de La Habana, Cuba  
**Teléfono particular:** 93-3077

### **Resumen**

El propulsor de chorro de agua se diferencia de todos los demás propulsores en que este se ubica completamente dentro del casco de la embarcación.

Esto ha predeterminado la particularidad específica del trabajo y las ventajas de este tipo de propulsor, las más importantes de las cuales son prácticamente la completa protección del propulsor, la posibilidad de lograr el menor calado de la embarcación, buena maniobrabilidad de la embarcación en marcha avante, marcha atrás y hacia ambas bandas sin la reversibilidad del motor propulsor, la inclusión dentro de la embarcación de sistemas navales especiales etc.

La metodología de cálculo de los propulsores de chorro de agua en lo fundamental se desarrolló en Rusia y se apoya en investigaciones y trabajos prácticos de las embarcaciones de chorro de agua.

Una atención considerablemente menor se le ha dado a los problemas prácticos de cálculo y proyección especialmente en el uso de propulsores de chorro de agua en embarcaciones pequeñas.

Esto es lo que ha llevado al Autor a escribir sobre el tema como sostén del estudio, diseño, construcción y generalización de una embarcación recolectora de hidrocarburos y sólidos flotantes denominada "MEDUSA", experiencia única en América, cuyos resultados obtenidos en el transcurso de más de cuatro años de intenso trabajo, ha demostrado lo acertado de la solución técnica.

## **Introducción**

El desarrollo de embarcaciones del tipo recolectores de hidrocarburos y sólidos flotantes no ha sido significativo a nivel mundial; pocos países han desarrollado diferentes variantes de embarcaciones, una más eficientes, otras tratando de ser más universales, todas para enfrentar un mismo objetivo, la eficiente respuesta de contención, hacinamiento y recogida de cualquier tipo de derrame accidental de hidrocarburo que se pueda producir en el mar en condiciones favorables para ello y la recogida de sólidos flotantes.

En varios años de estudio de esta problemática el modelo diseñado finalmente respondió a una embarcación que cumpliera con dos exigencias principales y dos secundarias, fundamentalmente para trabajar en los límites de las bahías y zonas costeras con condiciones de marea con una altura no mayor de 0,5 metros, que son:

- recogida de hasta 30 m<sup>3</sup> de hidrocarburos y su almacenaje;
- recogida de hasta 4 m<sup>3</sup> de sólidos flotantes y su almacenaje;
- achique de mezclas oleosas a embarcaciones menores a 150 T.R.B;
- recogida de desechos sólidos desde otros buques.

Este recogedor polivalente, sin lugar a dudas, es una contribución más al saneamiento, conservación y mantenimiento de los niveles de limpieza de las aguas marinas y en consecuencia del medio ambiente marino.

En la actualidad, el desarrollo de la propulsión a chorro de agua, se ha visto limitado a embarcaciones pequeñas y rápidas, a embarcaciones que navegan en ríos y lagos con limitaciones de calado y más actualmente en embarcaciones de trabajo, fundamentalmente destinadas a la lucha por la limpieza contra los derrames de hidrocarburos y los sólidos flotantes.

La construcción de este tipo de embarcación no ha sido significativo a nivel mundial y han sido desarrolladas en muy pocos países del mundo, como Rusia, Polonia, Grecia y Cuba.

Las mismas ofrecen unas perspectivas de desarrollo distintas y por consiguiente de una importancia sin igual en la conservación del medio ambiente marino.

Estas embarcaciones recolectoras de hidrocarburos y sólidos flotantes, llamadas en Cuba también limpiabahías, son medios flotantes que además de utilizar con la mayor eficiencia las posibilidades de la propulsión a chorro de agua, también se apoyan en ella para el

funcionamiento de sistemas especiales vitales para la recolección de hidrocarburos y sólidos flotante, que en el desarrollo de la ponencia se explicarán detalladamente.

Veintiún años después de un largo y difícil camino Cuba ya tiene su embarcación limpia bahías. En el año 2000 nació el Medusa. Concluían dos décadas de estudio, propuestas, aprobación, proyecto y construcción.

Esta es la primera embarcación, completamente cubana, que es movida por acción de la propulsión de chorro de agua y devino un hecho trascendental para la historia de la construcción naval en la Isla.

Las diferentes variantes desarrolladas, pueden considerarse eficientes y universales. El MEDUSA ha demostrado un gran desempeño en sus funciones principales y secundarias.

Estos barcos son una necesidad para el país. Nuestra Isla, rodeada de mar, está potencialmente afectada por las posibilidades de cualquier tipo de derrames, debido al intenso tráfico de grandes embarcaciones petroleras, que navegan desde y hacia el norte y bordean las líneas internacionales, muy cercanas a sus costas.

El MEDUSA es pequeño por sus dimensiones generales, pero con una alta complejidad técnica, lo que le permite recoger las fracciones de productos oleosos y los desperdicios sólidos en la superficie de las aguas de las bahías, puertos, lagos, presas, aguas costeras, con un oleaje no mayor de 0,5 metros de altura con gran eficiencia.

La embarcación fue proyectada y construida según las exigencias de la Sociedad Clasificadora, el Registro Cubano de Buques.

Las nuevas proyecciones incluían las pruebas de rigor a la nave, de una serie inicial de tres, que se denominaron Medusa I, II y III. El primer prototipo se destinó a la bahía de La Habana, donde está demostrando su eficacia, calidad y utilidad.

La Empresa de Proyectos Navales (CEPRONA), fue la Proyectista y los Astilleros del Oriente (ASTOR) fueron los Constructores del Medusa los cuales asimilaron esta tecnología, considerada de punta, con gran maestría.

Actualmente dos embarcaciones están destinadas a la bahía de La Habana y una trabaja en la bahía de Santiago.

Medusa, según se ha podido comprobar, encierra en sí misma un alto efecto social por ser un equipo destinado a contribuir a la lucha por un medio ambiente marino sustentable, además de su efecto económico tangible.

El Medusa fue Premio Nacional Relevante en del XIII Forum de Ciencia y Técnica.

Entre las ventajas económicas de esta embarcación sobresalen: la reducción de la dependencia de importación, fundamentalmente de países desarrollados, cuyos precios de venta son inalcanzables; el pago por mano de obra y seguridad social es en moneda nacional y también que el país posee toda la documentación necesaria para construir estos equipos.

También destacan el desarrollo de sus potencialidades técnicas y humanas, las mejores condiciones de vida de la tripulación, sus cualidades de maniobra, y que con ella se podrán combatir con relativa rapidez y eficacia posibles derrames de petróleo en las cercanías de nuestras costas entre otras virtudes.

Medusa comienza a ser la reina de nuestros mares. Ella también es parte de la conciencia y acción concreta del Estado cubano por preservar el medio ambiente. Por todos estos esfuerzos, encabezados por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, junto a otros organismos y entidades nacionales, ya volvemos a ver en bahías como la habanera a aves marinas, peces y aguas más limpias, para alegría de toda la población.

## **Desarrollo del trabajo**

Pequeña por sus dimensiones generales, pero con una alta complejidad técnica, MEDUSA es la primera embarcación limpiabahía construida en Cuba destinada para recoger las fracciones de productos oleosos y los desperdicios sólidos flotantes en la superficie de las aguas de las bahías, puertos, lagos, presas, aguas costeras, etc., con un oleaje no mayor de 0,5 m de altura.

La finalidad principal de esta embarcación es sanear las aguas y recuperar las fracciones de productos oleosos como materia prima, cuya entrega se realiza en la refinería de petróleo y la recolección de los sólidos flotantes, los cuales se entregan en un incinerador, dispuesto para tales efectos, para su cremación.

El MEDUSA posee todos los sistemas navales que le garantizan una segura navegación, pero además se incluyen los sistemas especiales para este tipo de embarcación que son el:

- sistema de propulsión a chorro de agua;
- sistema de gobierno con pala del timón y compuertas reactivas;
- sistema de entrada selectiva por nivel de agua del hidrocarburo y sólidos flotantes hacia la cántara;
- sistema de recolección hacia los tanques de decantación del hidrocarburo;
- sistema de recolección de los sólidos flotantes hacia el contenedor;

Todos los equipos y mecanismos tienen como base del accionamiento la hidráulica, ya sea por medio de un actuador rotacional o por medio de actuadores lineales, la fuente energética es tomada de la parte delantera del motor principal por una bomba hidráulica de engranajes y la distribución y control del líquido operante se lleva a cabo desde diferentes puntos, de acuerdo con la posición del accionamiento.

Además, la embarcación posee todos los demás sistemas necesarios para su trabajo y supervivencia.

El sistema eléctrico será a 24 V por medio de un banco de baterías, situado en el cuarto de máquinas, de corriente directa y servirá para el alumbrado general y el arranque del motor principal.

Otro grupo de baterías irá situado debajo de la escalera de acceso al puente por el costado de babor y servirá para el alumbrado en condiciones de emergencia y la alimentación al equipo de comunicaciones; además se dispone de un generador accionado por la toma de fuerza del motor principal para la alimentación de los reflectores en las faenas nocturnas.

Además, el sistema de compuertas reactivas y la pala del timón del sistema de gobierno accionadas hidráulicamente, interactúan como un todo con la propulsión a chorro de agua y dotan a esta embarcación de un sistema de alta complejidad para poder alcanzar los parámetros principales de trabajo en la recolección de hidrocarburo y sólidos flotantes, lográndose una maniobrabilidad tal que la embarcación puede operar en zonas restringidas con alta eficiencia.

Las formas del casco son simplificadas, con fácil tecnología de construcción.

La embarcación tiene una sola cubierta sin arrufo en la proa y una cántara abierta con entrada del agua de mar por la proa.

La forma de las compuertas delanteras, adaptadas a la forma de la proa del casco con su sistema de cierre, permite mejorar las características de navegación libre de la embarcación y además no solamente trabajar en zonas cerradas como las bahías, sino también alejarse de las costas en la cota que permite la Sociedad Clasificadora.

El fondo de la popa posee una forma que permite una buena entrada y salida de las aguas adyacentes y una correcta ubicación de los equipos especiales de maniobra.

La región de navegación III limita el trabajo de esta embarcación a las bahías y zonas costeras.

La embarcación tiene una autonomía aproximada de 2,5 días de trabajo continuo del motor propulsor a revoluciones óptimas.

La embarcación fue proyectada sobre la base de las exigencias de la Sociedad Clasificadora con limitaciones y aligeramientos para la zona de navegación prevista.

La misma se construyó bajo la supervisión del Registro Cubano de Buques para recibir la clase:

### **CM III - “Limpiabahía”.**

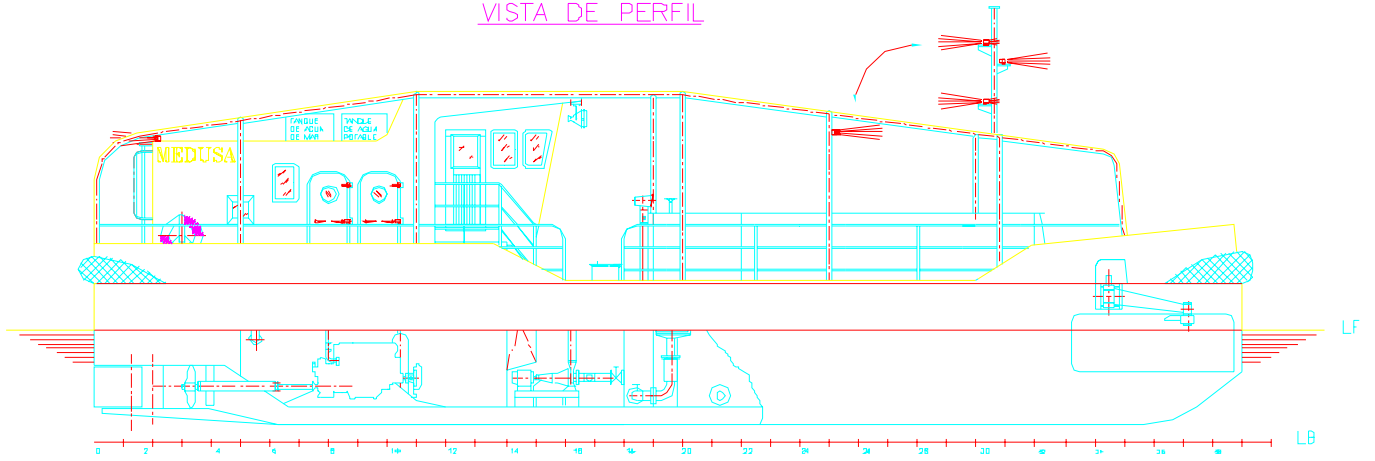
La tripulación estará compuesta de dos o cuatro personas, en dependencia del régimen establecido de trabajo para este tipo de embarcación.

Para la explotación de la embarcación se prevé:

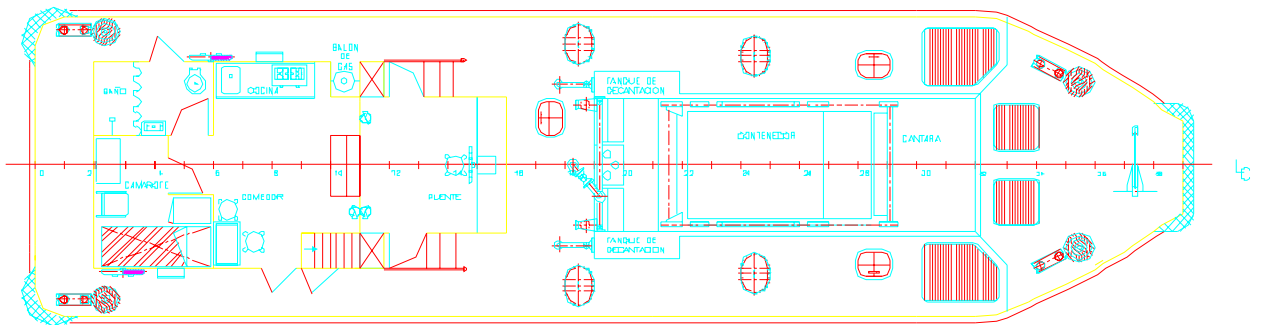
- un patrón-timonel
- un auxiliar entrenado en el servicio de los equipos de la embarcación
- un maquinista.

Se prevén condiciones de estancia permanente para dos personas a bordo.

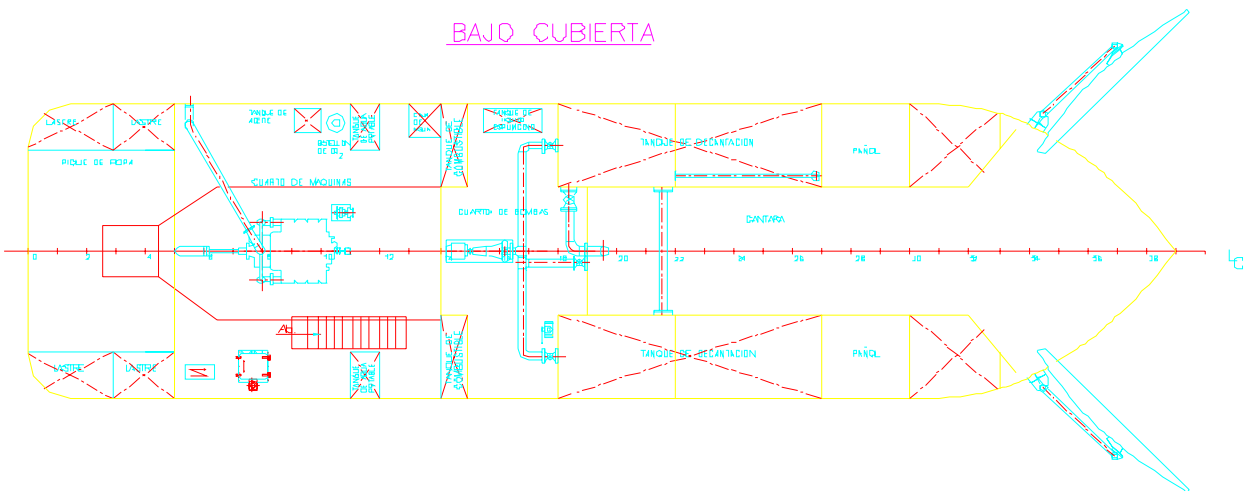
VISTA DE PERFIL



CUBIERTA PRINCIPAL



BAJO CUBIERTA



Las dimensiones principales de la embarcación son:

- eslora total	19,50 m
- manga total	5.00 m
- puntal	2,40 m
- calado medio a plena carga	1,44 m
- desplazamiento a plena carga	90,00 t
- clara constructiva	0,50 m

El casco está dividido con los mamparos transversales y longitudinales en los siguientes compartimientos:

• cuad.	• 0 : 5 central	• pique de popa
	• lateral	• tanques de lastre
• cuad.	• 5 : 15	• sala de máquinas
• cuad.	• 14 : 15 lateral	• tanques de combustible
• cuad.	• 14 : 19	• sala de bombas
• cuad.	• 19 : 33 central	• cántara
• cuad.	• 18 : 27 lateral	• tanques de decantación de los productos oleosos
• cuad.	• 27 : 30 lateral	• paños
• cuad.	• 30 : 33 lateral	• compartimientos de los flotadores
• cuad.	• 27 : 39 fondo	• compartimiento vacío
• cuad.	• 2 : 34	• canal central del fondo
• cuad.	• 2 : 15 central	• caseta

Las capacidades de agua potable, combustible y aceite hidráulico satisfacen las necesidades de la embarcación.

La velocidad libre del MEDUSA es de  $5 \pm 0,5$  nudos y la de trabajo de 0 – 2 nudos.

La estabilidad y el francobordo responden a las exigencias de la Sociedad Clasificadora para este tipo de embarcación y región de navegación.

A pesar de la complejidad de la estructura del fondo por la existencia del canal a todo lo largo de la embarcación, la misma fue dotada de suficientes registros para un mejor mantenimiento.

Los medios contraincendio y de salvamento se garantizan plenamente a bordo de la embarcación.

Para el fondeo se previó la utilización de un ancla tipo Danforth de 35 kg, la cual será operada manualmente en los momentos que se requiera, tomando en cuenta la poca frecuencia de su utilización, debido a las características de trabajo y navegación de esta embarcación.

El limpiabahía MEDUSA encierra en sí mismo un alto efecto social por ser un equipo destinado a contribuir a la lucha por un medio ambiente marino sustentable, mediante el saneamiento y mantenimiento de los niveles de limpieza de las bahías y zonas costeras, además del efecto económico tangible.

El cálculo del propulsor de chorro de agua, tiene como objetivo la determinación de los parámetros óptimos del mismo y de la geometría del canal hidráulico.

El procedimiento de cálculo se realiza para tres casos a tener en cuenta:

1. velocidad libre de navegación de la embarcación y entrada proel de agua hacia el propulsor;
2. velocidad de trabajo de la embarcación y entrada proel de agua hacia el propulsor.

El cálculo se realiza por el método de aproximaciones siguiente, hasta obtener los resultados satisfactorios con respecto a los valores esperados.

Al final se calculan la eficiencia del flujo, los indicadores de las revoluciones de la hélice, los coeficientes de la columna levantada por el propulsor y la intensidad del paso del flujo.

Los valores obtenidos permiten seleccionar el propulsor de chorro de agua para el cumplimiento de las condiciones de proyecto iniciales.

El sistema especial de propulsión por reacción a chorro de agua y canales sirve para forzar el movimiento de las aguas superficiales hacia la cántara con una velocidad de la embarcación desde cero hasta la máxima prevista de trabajo, el cual es una novedad para la construcción naval cubana, al desarrollarse esta técnica con buenos resultados, teniendo en cuenta que el funcionamiento de este tipo de embarcación depende totalmente de este tipo de propulsión.

El sistema global de propulsión de chorro de agua en este tipo de embarcación se compone de:

- rejilla de entrada delantera del canal;
- compuerta central;
- canal, dividido en tres secciones;

- rejilla de entrada del fondo;
- difusor;
- tubo de la hélice;
- hélice con su línea de ejes y motor;
- pala del timón;
- compuertas reactivas;
- registros de limpieza del canal.

Para poder explicar el funcionamiento de la propulsión de chorro de agua, es necesario primeramente conocer la distribución general de la embarcación denominada MEDUSA.

A partir de este conocimiento, se podrá entender más minuciosamente el funcionamiento de este tipo de propulsión, sus ventajas, según la destinación de la embarcación y su incidencia en el funcionamiento de los sistemas especiales, que determinan al final la eficiencia del trabajo en general en la recolección de hidrocarburos y sólidos flotantes según las premisas iniciales.

Nos detendremos entonces en la explicación del empleo de la propulsión de chorro de agua en esta embarcación.

1. Velocidad libre de navegación de la embarcación y entrada popel de agua hacia el propulsor.

A partir de la capacidad de succión de la hélice, desde el fondo de la embarcación, a través de la rejilla y el difusor se succiona el agua por el canal de la hélice originando el empuje necesario para el avance de la embarcación.

2. Velocidad de trabajo de la embarcación y entrada proel de agua hacia el propulsor.

En este caso nos detendremos más ya que la eficiencia de la propia embarcación depende totalmente de las posibilidades de succión de la hélice.

La embarcación en la faena, desarrolla una velocidad máxima de 2 nudos y una mínima de 0 nudos, lo que en la práctica en otro tipo de nave haría que se bajarán las revoluciones del motor propulsor para así bajar las de la hélice.

En nuestro caso la hélice se mantiene a las máximas revoluciones del motor propulsor, donde se alcanza su mayor empuje, lo que hace posible que tenga una capacidad de succión tal que arrastre inclusive desde fuera de las compuertas delanteras el flujo de agua a través del canal, trayendo consigo hacia la cántara navegable los residuos flotantes de hidrocarburo y sólidos.

La velocidad de trabajo de la embarcación desde 2 a 0 nudos se alcanza gracias al sistema de compuertas reactivas, que girándolas adecuadamente logran una contra reacción del flujo de la hélice, lográndose la disminución de la velocidad hasta valores adecuados para la recolección. De esta forma, se garantiza el funcionamiento adecuado de los sistemas especiales más importante de la embarcación, ya que a partir de este momento es que comienzan su función los sistemas de recolección de hidrocarburo hacia los tanques de decantación y el sistema de recogida de los sólidos flotante a través de la pala de recogida hacia el contenedor. De aquí, la importancia de un adecuado cálculo para obtener las características de empuje eficiente de la hélice.

## **Conclusiones**

El desarrollo de la construcción naval en general y de embarcaciones especializadas en particular en los países del Caribe y América latina, a partir del conocimiento técnico y tecnológico ya existente, aportaría grandes ventajas económicas y sociales, al reducirse la dependencia de importación, fundamentalmente desde países desarrollados, cuyos precios inaccesibles nos privan de un desarrollo sustentable, al ser los mismos prohibitivos en muchos casos para nuestras economías, además de crearse nuevas fuentes de empleo y nuevas potencialidades constructivas en nuestros países.

Las embarcaciones destinadas al saneamiento marítimo-portuario son una necesidad real en la lucha por la conservación de un medio ambiente sustentable.

### **Bibliografía**

1. G. J. Waganow                    “Tiro de las embarcaciones” Riecznoj Transport” Moscu  
1962
2. Centkowski J.                    “Propulsores navales de chorro de agua”    1969
3. Papir A. N.                        “Propulsores navales de chorro de agua en embarcaciones  
pequeñas” Leningrado 1970
4. Troskolansky A.T.                “Hidromecánica" Varsovia 1969
5. Idielchik I. E.                    “Prontuario de resistencia hidraulica” Moscú 1975
6. Registro Cubano de Buques 1988